

KARAKTERISTIK SIFAT MEKANIK *SOLID TYRE* DENGAN BAHAN PENGISI DAN PELUNAK BERBASIS SUMBER DAYA ALAM LOKAL

MECHANICAL PROPERTIES OF *SOLID TYRE* USING FILLERS AND SOFTENER BASED ON NATURAL RESOURCES MATERIALS

Nasruddin

Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang
Jalan Kolonel H. Burlian Km. 9 Palembang
e-mail: nas.bppi@gmail.com

Diterima: 13 Februari 2017; Direvisi : 14 Februari 2017-12 Juni 2017; Disetujui: 13 Juni 2017

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari sifat mekanik *solid tyre* dengan bahan pengisi lokal yang terdiri dari silika dari pasir kuarsa, *fly ash* dari abu terbang batubara, kaolin dan bahan pelunak dari minyak jelantah. *Solid tyre* dibuat melalui proses mastikasi, vulkanisasi, dan pencetakan. *Solid tyre* yang buat terdiri dari 5 (lima) formula yaitu Formula A, B, C, D dan E. Sifat mekanik *solid tyre* dari masing-masing perlakuan dibandingkan dengan sifat mekanik *solid tyre* yang berasal dari impor (F*). Pengujian sifat mekanik untuk masing-masing perlakuan dan sifat mekanik *solid tyre* yang berasal dari impor dilakukan 3 (tiga) kali pengulangan. Hasil pengujian masing-masing formula di bandingkan dengan hasil pengujian sifat mekanik *solid tyre* yang berasal dari impor. Hasil pengujian sifat mekanik untuk formula B mendekati hasil pengujian *solid tyre* dari impor dengan hasil: *hardness* 76 shore A; *tensile strength* 133,91 kg/cm²; *modulus* 200% 23,64; *elongation at break* 562%; *tear strength* 64,88 kg.c⁻¹; *specific gravity* 1,23; *abrassion resistance* (DIN) 108,25 mm³; *compression set*, 25% defl, 70°C, 22h 73,43; *ozon resistance* 50 pphm 20% *strain* 24 h 40°C no crack; dan *tensile strength after aging* (70°C, 24 h) 120,18 kg/cm².

Kata kunci: *Fly ash*, kaolin, minyak jelantah, silika, *solid tyre*

Abstract

The objective of research was to study the mechanical properties of solid tyre which was made by using local fillers namely silica extracted from quart sand, coal fly ash, kaolin as well as used cooking oil as softener. Solid tyre were made through mastication, vulcanization, and molding. The Solid tyre comprising 5 (five) formulas namely Formula A, B, C, D, and formula E. The mechanical properties of the solid tyre of each treatment were compared with the mechanical properties of the solid tyre originating from imports (F*). Testing of mechanical properties for each treatment were made 3 (three) replications. Test result showed that the mechanical properties of formula B was comparable to the imported solid tyre in term of hardness 76 shore A; Tensile strength of 133.91 kg / cm²; Modulus 200% was 23.64; Elongation at break 562%; Tear strength 64.88 kg.c⁻¹; Specific gravity 1.23; Abrassion resistance (DIN) 108.25 mm³; Compression set at 25% defl, 70°C, 22h was 73.43; Ozone resistance (50 pphm 20% strain 24 h 40°C) was no crack; and tensile strength after aging (70°C, 24 h) 120.18 kg / cm².

Keywords: *fly ash*, kaolin, used cooking oil, silica, solid tyre

PENDAHULUAN

Ban secara umum berfungsi sebagai peredam getaran, menyeimbangkan, mengontrol, dan sebagai penahan beban kendaraan pada saat melaju maupun diam. Ban terdiri beberapa *type* dan jenis antara lain ban yang diisi dengan angin, ban padat

(*solid tyre*). *Type* dan ukuran ban disesuaikan dengan jenis kendaraan, dan peruntukannya.

Ban untuk semua tipe umumnya terbuat dari campuran karet alam, karet sintesis, dan bahan proses lainnya. Sifat mekanik dan mutu ban ditentukan oleh bahan yang digunakan, rasio bahan, proses mastikasi, proses vulkanisasi, dan pencetakan.

Solid tyre (ST) merupakan ban padat dengan spesifikasi khusus yang dirancang untuk berbagai jenis kendaraan berat seperti ban *forklift* maupun kendaraan ringan seperti ban sepeda *sport* maupun ban kursi roda pasien (*wheelchair*). Ban padat untuk kendaraan ringan seperti untuk kursi roda pasien dibuat dari karet alam, karet sintesis, dan campuran bahan dari plastik.

Karet alam untuk pembuatan ban padat berfungsi untuk mengurangi getaran pada saat digunakan. Hal ini disebabkan karet alam mempunyai keunggulan dibandingkan dengan karet sintesis (Masyrukan, 2013). Keunggulan karet alam bersifat elastisitas, flekibel, liat dengan kekenyalan yang tidak dapat digantikan oleh karet sintesis. Keunggulan karet alam lebih kuat dan elastis dengan kelemahan mudah rusak oleh hidrokarbon, ozon, dan asam (Nabil *et al.*, 2013; Bahruddin *et al.*, 2006). Kelemahan karet alam terutama terhadap serangan ozon dapat dilindungi dengan menambahkan antidegradan pada saat proses vulkanisasi.

Sifat mekanik ST selain ditentukan oleh jenis dan mutu karet, ditentukan oleh bahan pengisi penguat, bahan pengisi penambah volume, bahan pelunak, proses mastikasi, proses vulkanisasi, dan proses pencetakan. Rasio bahan pengisi penguat, bahan pengisi penambah volume, bahan pelunak terhadap ST berpengaruh terhadap sifat mekaniknya. Bahan pelunak yang ditambahkan pada saat pembuatan kompon di *open mill* bertujuan untuk melunakkan sifat mekanik karet alam agar bahan proses yang ditambahkan lebih muda disisipkan sehingga dapat terdistribusi keseluruhan bagian karet. Bahan pelunak untuk pembuatan kompon karet umumnya berasal dari turunan minyak bumi seperti minarex, *white oil*, DOP, dan DBP.

Pengembangan karet alam menjadi ban telah banyak dilakukan melalui berbagai proses seperti proses mastikasi dan vulkanisasi dengan berbagai metode termasuk jenis bahan, rasio bahan, dan prosesnya. Bijarmi *et al.*, (2010) telah melakukan penelitian sifat mekanik ban dari karet alam dan *carbon black* N550 yang

menghasilkan kekerasan 59-71 Shore A. Menurut (Cinaralp dan Zullo, 2012) *carbon black* dan silika sebagai bahan pengisi dapat meningkatkan sifat mekanik ban yang dihasilkan. Menurut Singh *et al.*, (2015) penambahan *carbon black* 70 phr menghasilkan *tensile strength* 145,5 kg/cm², *tear strength* 40,0 KN/M, dan hardness 68 SHA. Menurut Zafarmehrabain *et al.*, (2012), penambahan silika/carbon : 0; 5; 10; dan 20/60; 55; 50; dan 40 berpengaruh terhadap *tensile strength* 11,5; 10,6; 7,8; dan 6,9 MPa dengan hardness (Shore A) 51; 49; 48, dan 49. Menurut Oh *et al.*, (2014), penggunaan *plasticizers* jenis *dioctylphthalate* (DOP), *tricrecylphosphate* (TCP), *dioctyladipate* (DOA) dapat meningkat sifat mekanik barang jadi karet.

Pengembangan karet alam menjadi ST pada penelitian ini dilakukan dengan menambahkan bahan pengisi dari sumber daya alam lokal sebagai bahan proses (silika dari pasir kuarsa, kaolin, abu terbang batubara, karbon aktif dari tempurung kelapa, dan minyak jelantah dari minyak nabati). Bahan lokal yang ditambahkan dapat meningkatkan sifat mekanik dan mutu ST. ST yang dibuat pada penelitian ini hanya menggunakan karet alam tanpa karet sintesis.

Pengembangan karet alam menjadi barang jadi karet tanpa bahan pengisi berdampak pada sifat mekanik (Binjarimi *et al.*, 2010). Bahan pengisi yang ditambahkan berpengaruh terhadap struktur, dan kekerasan produk, sementara bahan pelunak berfungsi untuk memudahkan terdispersinya bahan proses yang ditambahkan.

Silika yang berasal dari pasir kuarsa merupakan salah satu bahan pengisi penguat yang digunakan dalam pembuatan kompon karet. Pasir kuarsa menurut Alnawafleh, (2009), dan Márquez *et al.*, (2010) mengandung SiO₂ 98,6%, Al₂O₃ 0,5%, Fe₂O₃ 0,08%. Menurut Bocker, (1970) struktur silika terdiri dari empat atom oksigen yang menempati sudut-sudut tetrahedron dengan atom silika dengan jarak antara Si-O (1,58 Å), O-O (2,6 Å), dan Si-Si (3,2 Å). Menurut Kato *et al.*, (2008), silika dalam struktur *networklike*

silika dengan jaringan tiga dimensi dalam matriks karet dapat meningkatkan ikatan antar molekul dan sifat mekanik karet. Menurut Ansarifar *et al.*, (2000) penambahan silika 50 pphr dapat meningkatkan sifat mekanik barang jadi karet. Menurut Winya, dan Pittayaprasertkul, (2015) penambahan sulfur 60 psk dan silika 10 psk dapat meningkatkan nilai kekerasan mencapai 73 shore D pada barang jadi karet.

Abu terbang batubara sebagai bahan pengisi penambah volume ditujukan untuk meningkatkan kekerasan. Menurut Lestiani *et al.*, (2010) dan Ghofur *et al.*, (2014), abu terbang dan abu dasar mengandung unsur Si, Al, Fe, Ca, K dan Mg dalam presentase yang tinggi (4, 8,15). Abu terbang batubara dengan kandungan silika meningkatkan kekuatan, kekerasan, dan keliatan produk karet (Munir, 2010). Menurut Satheesh *et al.*, (2013) *fly ash* yang ditambahkan pada material komposit dengan ukuran 300 nm sebagai bahan pengisi dapat meningkatkan nilai kekerasan.

Kaolin bersama dengan silika, dan abu terbang batubara sebagai bahan pengisi dapat meningkatkan sifat mekanik terutama nilai kekerasan. Kaolin merupakan material lempung berwarna putih dengan komposisi hidrous aluminium silikat ($2\text{H}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) dengan mineral utama $\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{SiO}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ mengandung lapisan *gibbsite octahedral*, dan *tetrahedral* silikon oksida (Guessoum *et al.*, 2012). Kaolin berwarna agak keputihan dengan tingkat kekerasan 2-2,5 (Skala mohs), berat jenis 2,60-2,63 (Garinas, 2009).

Kaolin mempunyai struktur berlapis dengan ukuran partikel $<2 \mu\text{m}$, dan luas permukaan spesifik 7-20 m^2/g (Kesuma *et al.*, 2013). Menurut Fitriani dan Prasetyo (2014) kaolin Bangka Belitung selain mengandung kaolinit mengandung kuarsa menunjukkan pola difraksi dengan puncak-puncak pada 2θ 12° , 33° dan 24° . Menurut Hamzah *et al.*, (2010) kaolin mengandung SiO_2 93%, TiO_2 1,0%, Al_2O_3 2,3%, dan Fe_2O_3 0,9%. Menurut Cifriadi dan Maspanger (2005) abu terbang batu bara, dan kaolin dengan ukuran partikel 300 mesh dapat meningkatkan sifat vulkanisat kompon karet. Sitorus *et al.*, (2013) melaporkan, penambahan kaolin 5,0 bsk dengan penambahan alkanolamida 5,0 bsk

kedalam kompon karet dapat meningkatkan nilai kekerasan.

Arang aktif dari tempurung kelapa pada penelitian ini selain sebagai bahan pengisi penguat dengan TiO_2 menghasilkan warna abu-abu, memperkuat, dan memperbaiki setruktur kompon yang dihasilkan. Arang tempurung kelapa terdiri dari jaringan berpilin dengan lapisan karbon yang dihubungsilangkan oleh jembatan alifatik dengan luas permukaan, dimensi, dan distribusi atom-atom karbon sebagai penyusun struktur arang aktif (Kyotani, 2000).

Tempurung kelapa merupakan bahan organik terdiri dari selulosa ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_n, hemiselulosa, dan lignin. Ukuran partikel, luas permukaan, dan pori-pori karbon aktif menentukan setruktur kompon yang dihasilkan. Pori-pori karbon aktif untuk mikropori berukuran $<40\text{\AA}$, mesopori 40\AA – 5000\AA , dan makropori $>5000\text{\AA}$ (Nurdiansah dan Susanti, 2013; Iqbaldin *et al.*, 2013).

Pori-pori arang aktif berperan untuk meningkatkan ikatan antar molekul dari masing-masing bahan, dan memperkuat struktur *solid tyre* yang dihasilkan. Menurut Hasan *et al.*, (2012) ukuran partikel *carbon black* berpengaruh terhadap waktu, dan laju vulkanisasi. Ukuran partikel yang semakin kecil maka waktu vulkanisasi semakin lambat, dan laju vulkanisasi semakin cepat. Menurut Yunita *et al.*, (2013) karbon aktif dengan rasio 12,5 phr pada pembuatan kompon karet menghasilkan kuat tarik 20,5 Mpa, modulus 1,7 Mpa, dan perpanjangan putus 760%. Arang aktif sebagai bahan pengisi penguat kompon karet dapat meningkatkan sifat mekaniknya. Menurut Baharuddin *et al.*, (2010) karbon aktif dengan rasio 30% pada vulkanisasi kompon karet menghasilkan kuat tarik, dan *elongation at break* masing-masing 9,8 MPa, dan 413%.

Bahan pelunak merupakan senyawa organik yang berasal dari turunan minyak bumi maupun minyak nabati berfungsi untuk menyusun struktur molekul bahan penyusun kompon agar mudah dibentuk. Minyak jelantah merupakan bahan pelunak yang dapat digunakan pada proses pembuatan kompon. Minyak jelantah (*fried palm oil*) merupakan minyak nabati dari CPO (*crude*

palm oil) mengandung senyawa karsinogenik yang terjadi selama proses penggorengan. Minyak jelantah mengandung asam lemak jenuh (ALJ) tinggi yang disebabkan oleh proses penggorengan yang menyebabkan ikatan rangkap menjadi jenuh (Ramdja *et al.*, 2010). Penambahan minyak jelantah pada pembuatan kompon karet untuk ST bertujuan melunakkan karet agar bahan yang ditambahkan dapat terdistribusi, dan menyisip pada bagian molekul-molekul karet sehingga menjadi satu kesatuan yang saling mengikat.

Pengembangan karet alam dengan bahan pengisi penguat, bahan pengisi penambah volume, dan bahan lainnya untuk ST dilakukan melalui proses vulkanisasi menggunakan sulfur. Menurut Andriyanti *et al.*, (2010) proses vulkanisasi merupakan penentu dari keseluruhan proses teknologi karet, karena proses ini menentukan sifat mekanik produk yang dihasilkan. Menurut Aprem *et al.*, (2003) proses vulkanisasi terjadi serangkaian reaksi kimia yang kompleks antara karet, sulfur dengan bahan lainnya yang mengubah sifat mekanik karet dari lembut menjadi lebih kuat melalui pembentukan ikatan silang antara molekul rantai panjang karet.

Menurut Hasan *et al.*, (2012) suhu vulkanisasi mempengaruhi waktu, dan laju vulkanisasi. Suhu vulkanisasi yang tinggi maka semakin rendah waktu vulkanisasi, dan semakin tinggi laju vulkanisasi. Menurut Baharuddin *et al.*, (2007) proses vulkanisasi dengan rasio NR/PP, 70/30 dengan komposisi sulfur 5 phr dapat meningkatkan nilai *elongation at break* mencapai 70%. Proses vulkanisasi menggunakan *open mill* bertujuan untuk memutuskan ikatan rantai molekul karet agar zat aditif mudah dimasukkan kedalam kompon karet (Astika dan Irwanto, 2015). Penelitian ini dilakukan dengan mengoptimalkan sumbu daya alam lokal untuk mendapatkan sifat mekanik ST yang mendekati sifat mekanik ST impor.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan terdiri dari: karet alam (NR), TiO_2 , *carbon black* (CB), ZnO , asam stearat (AS), CR, PEG 400, silika, *fly ash*, kaolin, minyak jelantah (MJ), BHT, TMTD, DPG, dan sulfur. Peralatan yang digunakan terdiri dari: neraca analitis, neraca biasa, *open mill*, alat cetak *solid tyre*, dan thermometer IR,

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan menggunakan rancangan acak lengkap dengan faktor tunggal yaitu komposit bahan pengisi dan *softener* (Tabel 1). Percobaan dilakukan 3 replikasi. Hasil percobaan dilakukan pengujian sifat mekanik dan dibandingkan dengan hasil pengujian sifat mekanik *solid tyre* komersial (impor dengan kode F*).

Tabel 1. Formula *Solid Tyre*

No	Bahan	Formula				
		A	B	C	D	E
		PHR	PHR	PHR	PHR	PHR
1	NR	100	100	100	100	100
2	TiO_2	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25
3	CB	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
4	ZnO	4.25	5.25	5.25	5.25	5.25
5	As	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
6	CR	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
7	PEG	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75
8	Silika	48	50	52	54	56
9	<i>Fly Ash</i>	10	8	6	4	2
10	Kaolin	2	4	6	8	10
11	MJ	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
12	BHT	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
13	TMTD	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
14	Sulfur	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85

Prosedur

NR dimastikasi di *open mill* selama 3-4 menit, tambahkan TiO_2 sampai karet alam berubah menjadi putih, tambahkan CB sedikit demi sedikit sampai menjadi abu-abu. Sambil terus digiling tambahkan ZnO . Tambahkan asam stearat, MJ sedikit sambil terus digiling tambahkan SiO_2 , abu terbang batubara, dan kaolin. Tambahkan bahan pencepat, BHT sambil terus digiling. Setelah seluruh bahan terdiversi sempurna di dalam molekul-molekul

NR, proses selanjutnya tambahkan belerang sampai terdistribusi secara sempurna. Proses mastikasi dan vulkanisasi di *open mill* selama 45 menit. Pencetakan ST berlangsung selama 15 menit pada temperatur 170°C.

Parameter Uji

Parameter uji ST meliputi: *Hardness Shore A* metoda uji ASTM D 2240; *tensile strength*, ASTM D 412; *modulus 200%* (ASTM D 412); *elongation at break*, % (ASTM D412); *tear strength*, kg.c⁻¹ (ASTM D624); *specific gravity* (ASTM D 624); *abrassion*

resistance (DIN), mm³ (ASTM D 5963); *compression set*, 25% defl, 70°C, 22h (ASTM D 395); *ozon resistance*, 50 pphm, 20% strain, 24 h, 40°C (SNI.7655-2010); dan *after aging* (70°C, 24 h) *tensile strength*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian *solid tyre* dari semua perlakuan dan *solid tyre* komersial (F*) seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Syolid Tyre

No	Parameter	Hasil Pengujian					
		A	B	C	D	E	F*
1.	Hardness, Shore A	69	76	80	84	87	73,5
2.	-Tensile Strength, kg/cm ²	110,46	133,91	106,12	102,74	101,33	143,00
3.	Modulus 200%	20,18	23,64	25,72	26,32	36,40	18
4.	Elongation at Break, %	548	562	485	443	187	579
5.	Tear Strength, kg.c ⁻¹	60,18	64,88	67,24	69,62	66,23	51,99
6.	<i>specific gravity</i>	1,22	1,23	1,24	1,26	1,34	1,18
7.	<i>Abrassion Resistance</i> (DIN), mm ³	120,15	108,25	104,33	96,42	92,64	110,65
8.	Compression Set, 25% defl, 70°C, 22h	67,14	73,47	62,36	58,82	60,35	72,9
9.	Ozon Resistance, 50 pphm, 20% strain, 24 h, 40°C	No Crack	No Crack	No Crack	No Crack	No Crack	No Crack
10.	After Aging (70°C, 24 h) untuk Tensile Strength kg/cm ²	102,16	120,18	101,74	95,01	62,39	139

Keterangan: F* *solid tyre* komersial yang berasal dari impor

Kekerasan

Perbedaan nilai kekerasan (*hardness*) ST dari hasil penelitian ini terjadi akibat terbentuknya ikatan silang antar molekul bahan dengan karet alam. Silika dari bahan pengisi penguat dan dari bahan pengisi penambah volume secara bersama-sama dengan bantuan *coupling agent* membentuk ikatan silang yang kuat dengan matrik polimer karet.

Kemampuan *coupling agent* untuk menyisipkan silika dari bahan pengisi penguat dan bahan pengisi penambah volume termodifikasi dalam matriks karet membentuk

aglomerat yang berdampak pada nilai kekerasan ST. Selain itu, silika termodifikasi selama proses vulkanisasi oleh asam stearat, dan Zn berperan sebagai activator selama proses vulkanisasi. *Rasio coupling agent* yang ditambahkan untuk mempercepat terjadinya interaksi antar polimer dan permukaan bahan pengisi untuk semua perlakuan 4,75 phr.

Silika merupakan matrial padat yang mempunyai permukaan yang tidak beraturan dengan tingkat kehalusan 300 mesh yang digunakan memberikan kontribusi terhadap kekerasan ST. Efek penambahan *fly ash* sebagai bahan pengisi dengan bantuan *coupling agent* dapat meningkatkan kuat tekan pada produk yang dihasilkan, dimana kuat tekan berkaitan dengan kekuatan benda

untuk menerima beban yang diberikan padanya. Menurut Arioza *et al.*, (2013) *fly ash* yang ditambahkan sebagai bahan pengisi dengan bantuan *coupling agent* dapat meningkatkan kuat tekan dan sifat mekanik.

Hasil pengujian kekerasan ST untuk formula E dengan nilai 87 Shore A lebih tinggi dari nilai kekerasan formula lainnya termasuk nilai kekerasan ST impor (F^*). Nilai kekerasan untuk formula E dilihat dari rasio penambahan silika 56 phr lebih tinggi dari rasio yang ditambahkan untuk formula A, B, C, dan D. Menurut Peng, (2007) penambahan silika dapat meningkatkan kuat tarik, kekerasan akan tetapi kelebihan penambahan silika berdampak pada penurunan elastisitas produk. Nilai kekerasan ST yang dihasilkan dari kelima formula yang mendekati ST impor (F^*) berasal dari formula B. Nilai kekerasan formula B dilihat dari rasio bahan pengisi dan bahan pelunak serta interaksi antara bahan, dengan rasio yang ada memungkinkan untuk mendekati kekerasan yang optimum sesuai dengan peruntukan ST seperti nilai kekerasan ST impor (F^*).

Tegangan Putus

Perubahan nilai tegangan putus (*tensile strength*) *before aging* dan *after aging* (Tabel 2) dipengaruhi oleh rasio bahan yang digunakan (Tabel 1) terutama bahan pengisi penguat, bahan pengisi penambah volume, anti oksidan, dan bahan pelunak. Hasil pengujian menunjukkan, interaksi antar bahan yang digunakan untuk ST dari semua perlakuan menghasilkan nilai tegangan putus yang berbeda (Tabel 2). Perbedaan nilai tegangan putus disebabkan oleh perbedaan rasio bahan pengisi penguat, bahan pengisi penambah volume, dan bahan pelunak. Data hasil pengujian terlihat, untuk formula B nilai tegangan putusnya tertinggi (133,91 kg/cm²) dari semua perlakuan. Hasil pengujian tegangan putus *after aging* pada temperatur 70°C selama 24 jam untuk semua perlakuan mengalami penurunan dari *before aging* ke *after aging* (Tabel 2).

Penurunan nilai tegangan putus dipengaruhi oleh kondisi temperatur 70°C

selama 24 jam, dimana pada temperatur 70°C selama 24 jam terjadi peregangan molekul yang membentuk ST. Pergerakan molekul akibat pengaruh temperatur 70°C selama 24 jam menyebabkan ikatan silang yang terbentuk pada saat vulkanisasi, setelah menjadi ST dipanaskan kembali pada temperatur 70°C selama 24 jam mengalami kegosongan (*scorch*). Nilai ST *after aging* menurunkan elastisitas yang berpengaruh langsung terhadap tegangan putus.

Tegangan putus untuk perlakuan B dilihat dari *rasio* bahan yang ditambahkan terutama *rasio* silika yang digunakan 50 phr, *fly ash* 8 phr, kaolin 4 phr, dan bahan pelunak 3 phr. Tegangan putus berhubungan dengan elastisitas karet sebagai bahan utama, ikatan antar molekul pembentuknya, jaringan tiga dimensi, bahan pengisi, dan berat jenis. Jika ikatan antar molekul bahan tidak kuat, elastisitas karet rendah, bahan pengisi, dan bahan pelunak yang ditambahkan berlebihan atau kurang maka tegangan putusnya mengalami penurunan.

Bahan pelunak yang ditambahkan pada perlakuan B dengan rasio 3 phr pada penelitian ini merupakan rasio yang optimum untuk meregangkan molekul-molekul karet alam pada saat proses vulkanisasi. Kelebihan bahan pelunak seperti perlakuan E (4,5 phr) berdampak pada komposisi yang dihasilkan menjadi lembek akibat molekul-karet mengalami peregangan, sementara rasio bahan pengisi tidak dapat mengimbangi atau menempati ruang yang mengalami pelunakan. Kelebihan bahan pelunak yang ditambahkan berdampak pada tegangan putus dan sifat mekanik ST.

Tegangan putus dari sampel perlakuan B (133,91 kg/cm²) mendekati nilai tegangan putus ST impor (143,00 kg/cm²) yang dibeli dari pasaran (F^*). Tegangan putusnya untuk perlakuan A 110,46 kg/cm² lebih rendah dari perlakuan B dan dari sampel ST impor (F^*), demikian juga dengan sampel C; D; dan E tegangan putusnya lebih rendah dari sampel B, dan sampel ST impor. Interaksi silika yang ditambahkan dengan rasio 50 phr, *fly ash* 8

phr, dan kaolin 4 phr memberikan nilai tegangan putus sebesar 133,91 kg/cm².

Menurut Zafarmehrabain *et al.*, (2012), penambahan silika pada rasio 20 phr dengan bahan pelunak *aromatic oil* 10 phr tanpa kombinasi bahan pengisi lainnya, dan tanpa *coupling agent* nilai tegangan putus yang dihasilkan 6,8 MPa, sementara untuk penambahan silika 5 phr nilai tegangan putusnya meningkat menjadi 10,6 MPa. Penambahan silika tanpa penambahan *coupling agent* tidak terbentuk ikatan antar molekul bahan dengan karet yang sempurna. Penambahan *coupling agent* mempercepat silika terdistribusi dengan sempurna kedalam molekul-molekul karet yang berdampak pada peningkatan sifat mekanik ST yang dihasilkan termasuk tegangan putus.

Modulus

Modulus merupakan bagian dari sifat mekanik ST yang berhubungan langsung dengan tenaga yang dibutuhkan (usaha) untuk meregangkan. Modulus dipengaruhi oleh mutu karet, *rasio* bahan pengisi, proses vulkanisasi, ikatan antar molekul pembentuknya, jenis bahan pelunak, dan sifat mekanik. Kekerasan dan elastisitas ST untuk semua perlakuan yang mendekati sampel F* berasal dari formula A, sementara untuk formula lainnya berada di atas nilai 18% untuk modulus 200%.

Kenaikan *rasio* bahan pelunak diiringi kenaikan *rasio* bahan pengisi menyebabkan terjadinya peningkatan penyisipan bahan pengisi, dan interaksi antar permukaan molekul bahan pembentuk terhadap peningkatan modulus 200% (Tabel 2). Perbedaan *rasio* bahan yang membentuk ST menyebabkan terjadinya perbedaan kekuatan ikatan antar molekul yang berdampak pada perbedaan nilai modulus 200%. Data hasil pengujian untuk formula E nilai modulusnya tertinggi (36,40 sore A) dari semua perlakuan termasuk sampel ST impor (F*). Hal ini menunjukkan, ikatan antar molekul, tingkat kerapatan, dan kekerasan untuk formula E lebih baik.

Kenaikan *rasio* bahan pengisi diiringi dengan kenaikan *rasio* bahan pelunak menyebabkan terjadinya pergerakan rantai

polimer yang memungkinkan semua bahan dapat tersisipkan kedalam rantai polimer karet alam yang terbentuk diiringi dengan peningkatan nilai modulusnya untuk masing-masing perlakuan.

Menurut Zafarmehrabain (2012), peningkatan silika sebagai bahan pengisi dengan konsentrasi tinggi berpengaruh pada penurunan modulus, elastisitas karet, dan sifat mekanik ban. Bahan pengisi, dan bahan pelunak yang berinteraksi dengan matriks polimer secara fisik maupun secara kimia menyebabkan terjadinya peningkatan sifat mekanik ST. Perbedaan *rasio* bahan pengisi yang terdispersi keseluruh bagian matrik polimer membentuk agregat yang terhubung dalam jaringan tiga dimensi yang memperkuat ikatan antar molekul ST berpengaruh terhadap perbedaan nilai modulus 200%. Kecepatan interaksi bahan pengisi dengan polimer selain dipengaruhi oleh ukuran partikel dipengaruhi juga oleh kecepatan bahan pelunak yang meregangkan ikatan antar molekul polimer terutama pada saat proses vulkanisasi.

Perpanjangan Putus

Hasil pengujian perpanjangan putus (*elongation at break*) untuk semua perlakuan dipengaruhi oleh *rasio* bahan pengisi yang ditambahkan untuk masing-masing formula. Bahan pengisi penguat pada *rasio* yang optimum dapat meningkatkan nilai perpanjangan putus, sementara untuk bahan pengisi penambah volume tidak memberikan nilai yang signifikan terhadap nilai perpanjangan putus, namun jika berlebihan dapat menurunkan nilai perpanjangan putus. Bahan pengisi penambah volume berkontribusi terhadap peningkatan nilai kekerasan, dan *specific gravity*.

Karet alam sebagai bahan utama ST berpengaruh terhadap nilai perpanjangan putus, dimana sifat elastisitas karet alam dapat meregang pada saat ditarik dan kembali lagi pada saat dilepaskan. Molekul-molekul karet pada saat terjadinya proses vulkanisasi (*vulcanizing agent*) terjadi reaksi kimia antara molekul-molekul karet dengan bahan pemvulkanisasi pada *rasio* seperti terlihat pada Tabel 1. Reaksi kimia yang terjadi

antara molekul-molekul karet dipercepat oleh bahan pencepat (*accelerator*) dan bahan penggiat (*activator*) membentuk ikatan silang dengan struktur jaringan tiga dimensi. Kecepatan reaksi, rasio bahan, dan tersisipkannya semua bahan proses kedalam molekul-molekul karet, serta waktu reaksi berpengaruh terhadap perpanjangan putus.

Perpanjangan putus untuk semua perlakuan terjadi perbedaan sesuai dengan rasio bahan yang ditambahkan, dan kesempurnaan terjadinya reaksi yang terbentuk. Hasil pengujian perpanjangan putus ST untuk perlakuan B nilai perpanjangan putusnya 562% mendekati hasil pengujian ST sampel F*. Hasil pengujian untuk sampel E perpanjangan putusnya 187% lebih rendah dari perpanjangan putus sampel F*, dan sampel yang lainnya. Nilai perpanjangan putus sampel F* dilihat dari rasio bahan pembentuknya, untuk bahan pengisi rasionya lebih besar dari rasio bahan pengisi sampel yang lainnya (Tabel 1).

Kelebihan bahan pengisi berpengaruh terhadap terjadinya aglomerasi dengan penyebaran tidak merata. Hal ini menyebabkan ikatan yang terbentuk tidak sempurna dengan molekul-molekul karet sehingga menurunkan elastisitas ST. Kelebihan bahan pengisi, dan bahan pelunak berpengaruh terhadap nilai kekerasan dan *specific gravity* ST (Tabel 2).

Ketahanan Sobek

Ketahanan sobek (*tear strength*) merupakan salah satu sifat mekanik yang menentukan mutu ST. Ketahanan sobek dipersyaratkan untuk menghindari terjadinya sobek pada saat melintas pada area yang ekstrim. Ketahanan sobek berkaitan dengan elastisitas, perpanjangan putus, dan kekerasan. Ketahanan sobek dipengaruhi oleh kesempurnaan terjadinya ikatan silang pada saat proses vulkanisasi karet dengan bahan yang membentuk ST.

Kenaikan atau penurunan ketahanan sobek ST dipengaruhi oleh proses vulkanisasi yang membentuk ikatan silang dan struktur jaringan tiga dimensi. Hasil pengujian ST untuk semua formula menunjukkan, nilai

ketahanan sobek berada di atas nilai ST impor (F*). Ketahanan sobek dari hasil pengujian (Tabel 2) dikaitkan dengan interaksi antar perlakuan dengan rasio bahan (Tabel 1) terlihat, kenaikan rasio silika yang diikuti dengan kenaikan ketahanan sobek hingga rasio silika 69,62 phr, *fly ash* 4 phr, kaolin 8 phr, dan bahan pelunak 4 phr.

Kenaikan ketahanan sobek berbanding terbalik dengan perpanjangan putus, dimana dengan kenaikan rasio silika, kaolin, dan bahan pelunak, perpanjangan putus mengalami penurunan dari 562% pada rasio silika 50 phr turun menjadi 187% pada rasio silika 56%. Kelebihan penambahan bahan pengisi menyebabkan terjadinya tingkat kejenuhan pada ruang yang terdapat di dalam vulkanisat yang pada akhirnya elastisitas ST mengalami penurunan, dan meningkatkan nilai kekerasan (Tabel 2). Kelebihan rasio bahan pengisi berpengaruh terhadap aktivitas luas permukaannya sehingga kontak langsung antara permukaan bahan pengisi dengan molekul-molekul karet menyebabkan ikatan yang terbentuk tidak sempurna.

Specific Gravity

Hasil pengujian *specific gravity* seperti terlihat pada Tabel 2 menunjukkan, bahan pengisi, dan bahan pelunak pada rasio yang berbeda (Tabel 1) berpengaruh terhadap perubahan *specific gravity*. Peningkatan rasio bahan pengisi berdampak langsung pada peningkatan *specific gravity*. *Specific gravity* ST masing-masing perlakuan mempunyai perbedaan seiring dengan perbedaan rasio bahan pengisi yang ditambahkan. Hasil penelitian menunjukkan, *specific gravity* tertinggi dari semua perlakuan pada formula E (1,34), sementara *specific gravity* yang mendekati *specific gravity* ST impor (F*) berasal dari Formula A. Jika dilihat dari rasio formula A untuk silika yang ditambahkan adalah sebesar 48 phr.

Kenaikan rasio silika 56 phr sebagai bahan pengisi penguat ST pada penelitian ini dapat meningkatkan kerapatan *crosslink*. Perbedaan kerapatan *crosslink* disebabkan oleh adanya dua reaksi silang yang berbeda, dan rasio bahan. Kerapatan ikatan silang

selain berhubungan dengan perbedaan sifat mekanik seperti *specific gravity*, berpengaruh juga terhadap modulus, kekuatan tarik serta elastisitas. Hal ini disebabkan oleh luas permukaan spesifik silika yang tinggi, dan tidak beraturan mempunyai kemampuan untuk berinteraksi dengan kelompok-kelompok hidroksil yang memberikan interaksi kimia yang menyebabkan terjadinya perbedaan sifat mekanik ST sesuai dengan rasio bahan yang ditambahkan.

Abrasi

Kombinasi bahan pengisi penguat, bahan pengisi penambah volume, bahan pelunak dengan karet alam, dan bahan kimia lainnya dari berbagai rasio (Tabel 1) berdampak pada nilai abrasi ST. Abrasi (*abrassion resistance*) yang terjadi pada bagian permukaan ST disebabkan oleh adanya sentuhan atau gesekan antara permukaan ST dengan permukaan benda yang dilaluinya. Bagian yang mengalami abrasi pada ST disebabkan oleh ikatan antar molekul yang tidak kokoh sehingga pada saat terjadinya sentuhan dengan benda yang statis terjadi pelepasan bagian permukaan. Hasil pengujian nilai abrasi untuk semua perlakuan, nilai abrasi yang mendekati nilai abrasi sampel F* berasal dari formula B, dan Formula C.

Nilai abrasi ST selain dipengaruhi oleh rasio bahan, berhubungan langsung dengan *specific gravity*, ketahanan sobek, tegangan putus, dan sifat mekanik lainnya. Jika dilihat dari data pada Tabel 2 kenaikan nilai *specific gravity* diikuti oleh penurunan nilai abrasi. Hal ini menunjukkan, perbedaan nilai *specific gravity* pada ruang yang sama menggambarkan konsentrasinya bahan yang terdapat di dalam ruang yang ditempatinya berbeda. Nilai kerapatan yang tinggi pada suatu ruang yang sama menggambarkan ikatan yang terjadi antara molekul juga semakin tinggi dengan demikian ketahanan terhadap abrasi juga semakin kuat (Tabel 2). Hasil pengujian untuk formula E, *specific gravity* 1,34 dengan tingkat abrasinya lebih rendah ($92,64 \text{ mm}^2$) dari nilai abrasi lainnya.

Pengaruh penambahan silika pada rasio 54 phr sebagai bahan pengisi penguat

dengan *coupling agent* dapat memperkuat struktur jaringan tiga dimensi sehingga dapat meningkatkan ketahanan terhadap abrasi. Hasil penelitian menunjukkan, dengan penambahan silika 54 phr bagian yang mengalami abrasi mencapai $92,64 \text{ mm}^3$. Nilai abrasi tersebut, lebih rendah dari ketahanan abrasi sampel ST impor (F*). Rendahnya nilai abrasi ST sebagai indikator penyebaran bahan pengisi keseluruhan bagian sudah merata sehingga ikatan antar molekul yang membentuk ST secara fisika kimia dapat memperkuat ketahanan terhadap abrasi.

Pemampatan Tetap

Pemampatan tetap (*compression set*) menunjukkan tingkat kepadatan *crosslink* rasio bahan yang ditambahkan terhadap produk yang dihasilkan. Pemampatan tetap berkaitan erat dengan ikatan silang yang terbentuk yang dipengaruhi oleh kepadatan antar molekul persatuan volume dalam satu ruang yang sama. Pemampatan tetap berkorelasi langsung dengan nilai *specific gravity*, kekerasan, dan elastisitas. Rasio bahan pengisi penguat, dan bahan pengisi penambah volume berpengaruh terhadap pemampatan tetap.

Hasil pengujian pemampatan tetap dari semua perlakuan pada temperatur 70°C selama 22 jam diperoleh, formula B memiliki kemampuan kembali pada keadaan semula yang lebih baik dari perlakuan lainnya 73,43%. Pemampatan tetap berdasarkan hasil pengujian dipengaruhi oleh rasio bahan pengisi yang ditambahkan pada saat proses vulkanisasi menjadi kompon. Kecenderungan penambahan bahan pengisi berpengaruh terhadap elastisitas yang pada akhirnya mempengaruhi nilai pemampatan tetap.

Pemampatan tetap formula A dilihat dari nilai pemampatan tetapnya lebih rendah dari pemampatan tetap untuk formula B, sementara rasio bahan pengisi yang ditambahkan lebih kecil dari formula B (Tabel 1). Pemampatan tetap selain dipengaruhi oleh rasio silika dipengaruhi juga oleh rasio *fly ash*, dimana untuk formula A rasio *fly ash* yang ditambahkan 10 phr lebih besar dibandingkan dengan formula B, dan formula lainnya. *Fly ash* yang ditambahkan bersama

dengan kaolin pada rasio tertentu berpengaruh terhadap nilai pemampatan tetap, dimana kaolin, dan *fly ash* hanya bersifat sebagai bahan pengisi penambah volume. Nilai pemampatan tetap formula B dibandingkan dengan sampel F* lebih tinggi 0,57%. Hasil pengujian pemampatan tetap dengan rasio silika, abu terbang batubara, kaolin, dan interaksi antar bahan yang ditambahkan pada rasio yang optimum mempunyai kemampuan untuk meningkatkan pemampatan tetap sampai mencapai batas yang diinginkan.

Penambahan *coupling agent* sampai kadar 4,75 phr untuk semua perlakuan dapat meningkatkan kinerja bahan pengisi terutama silika. Dimana *coupling agent* dari jenis FEG 4000 dapat mempercepat kinerja silika untuk bertindak sebagai bahan yang mempercepat terjadinya sambung silang (*curative agent*) dengan membentuk sambung silang tambahan baik secara kimia maupun secara fisika antara karet alam dengan silika. Penambahan silika dan bahan pengisi berkorelasi terhadap sifat mekanik ST yang dihasilkan.

Ketahanan Ozon

Barang jadi karet sangat rentan terhadap serangan ozon terutama pada saat cuaca ekstrim. Ozon akan menyerang pada bagian permukaan ST terutama pada bagian yang mengalami peregangan. Kerusakan pada bagian permukaan ST akibat serangan ozon dapat dicegah dengan penambahan *butil hidroksi toluen* (BHT) pada saat proses vulkanisasi. Penambahan BHT untuk seluruh perlakuan (Tabel 1) dikondisikan pada rasio masing-masing 1,35 phr. Hasil pengujian ketahanan ozon menunjukkan, ST yang diberi paparan ozon pada konsentrasi 50 ppm, 20% strain selama 24 jam pada temperatur 40°C sesuai metoda SNI.7655-2010 untuk kesemua sampel termasuk sampel F* tidak terjadi keretakan.

KESIMPULAN

Pengembangan karet alam dengan bahan pengisi lokal yang terdiri dari silika dari pasir kuarsa, *fly ash* dari abu terbang batubara, kaolin dan minyak jelantah dapat meningkatkan sifat mekanik *solid tyre*. Berdasarkan data hasil pengujian untuk formula B mendekati hasil pengujian sampel *solid tyre* dari impor (F*). Hasil pengujian untuk formula B: *hardness* 76 shore A; *tensile strength* 133,91 kg/cm²; *modulus* 200% 23,64; *elongation at break* 562%; *tear strength* 64,88 kg.c⁻¹; *specific gravity* 1,23; *abrassion resistance* (DIN) 108,25 mm³; *compression set*, 25% defl, 70°C, 22h 73,43; *ozon resistance* 50 ppm 20% strain 24 h 40°C *no crack*; dan *tensile strength after aging* (70°C, 24 h) 120,18 kg/cm².

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan pada Kepala Baristand Industri Palembang, PT. Shima Prima Utama Palembang yang membantu pengadaan karet alam dan teknisi pada kegiatan penelitian, dan rekan-rekan teknisi litkayasa yang membantu kegiatan penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- Alnawafleh. M.A., 2009. Mechanical and Physical Properties of Silica Bricks Produced from Local Materials. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(2): 418-423.
- Andriyanti, A., Darsono, dan W. Faisal, 2010. Kajian Metode Vulkanisasi Lateks Karet Alam Bebas Nitrosamin Dan Protein Alergen. Prosiding PPI – PDIPTN, Yogyakarta, 20 Juli 2010. Halaman, 161 – 169.
- Ansarifar, M.A., Jatinder, P. Chugh, dan S. Haghighat, 2000. Effects of Silica on the Cure Properties of Some Compounds of Styrene-butadiene Rubber. *Iranian Polymer Journal*, 9 (2), 81-87.
- Aprem, A., S. Thomas, K. Joseph, N.M. Barkoula dan J.K. Kocsis, 2003. Sulphur Vulcanisation of Styrene Butadiene Rubber using New Binary Accelerator Systems.

- Journal of Elastomers and Plastics*. Vol. 35, hal 29 – 55.
- Arioz, E., Ö. Arioz, dan Ö. M. Koçkar, 2013. Mechanical and Microstructural Properties of Fly Ash Based Geopolymers. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 4(6) 397-400
- Arsitika, W.P, dan D. Irwanto, 2015. Simulasi Pengukuran Suhu dan Kecepatan pada *Open Mill*. *Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet, dan Plastik ke-4 Yogyakarta*, 28 Oktober 2015. Hal. 197 - 212
- Baharuddin, Sumarno, G. Wibawa dan N. Soewarno. 2007. Morfologi dan Properti Campuran Karet Alam/Polypropylene yang Divulkanisasi Dinamik dalam Internal Mixer. *Reaktor*, Vol. 11(2), 71-77.
- Bahrudin, I. Zahrina, dan S.Z. Amraini, 2010. Pengaruh Filler Carbon Black Terhadap Sifat dan Morfologi Komposit Natural Rubber/Polypropylene. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, Vol. 9(2), 62-68.
- Bijarimi. M., H. Zulkafli dan M. D.H. Beg, 2010. Mechanical Properties of Industrial Tyre Rubber Compounds. *Journal of Applied Sciences*, 10: 1345-1348.
- Bijrami, M., H. Zulkafli, dan MDH Beg, 2010. Mechanical Properties of Industrial Tyre Rubber Compounds. *J. Applied Sciences*, 10(13) 1345-1348.
- Brockner, R. 1970. Properties and structure of vitreous silica. I. *Journal of non-crystalline solids* 5 (1970) 123-175.
- Cifriadi, A, dan Maspanger, D.R. 2005. Sifat Teknis Vulkanisat Sol Sepatu Karet Alam Menggunakan Bahan Pengisi Abu Terbang Batubara. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Inovatif untuk Pengembangan Industri Berbasis Pertanian*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Petanian, Hal, 701-708.
- Cinaralp, F, dan L. Zullo. 2012. Reinforcig Fillers in The Rubber Industry, Assesment as Potensial Nanomaterials with a Focus on Tyres. *Eroupean Tyre and Rubber Manufacturers Assosiation*. Hal 1-13.
- Fitriani, K.I, dan D. Prasetyoko. 2014. Sintesis Silika Tersulfat dari Kaolin Bangka Belitung. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2 (1), 1-7.
- Garinas, W. 2009. Karakteristik Bahan Baku Kaolin Untuk Bahan Pembuatan Badan Isolator Listrik Keramik Porselen Fuse Cut Out (FCO). *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 11(2), 120-125.
- Ghofur, A., Atikah, Soemarno, A. Hadi, 2014. Karakterisasi *Fly Ash* Batubara Sebagai Bahan Katalitik Konverter Dalam Mereduksi Gas Buang HC Dan CO Kendaraan Bermotor. *Prosiding SNST ke-5 Tahun 2014 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang*.
- Guessoum, M., S. Nekkaa, F.F. Rimlinger, dan N. Haddaoui, 2012. Effects of Kaolin Surface Treatments on the Thermomechanical Properties and on the Degradation of Polypropylene. *International Journal of Polymer Science*, Volume 2012, hal 1-9.
- Hamzah, U., K.K. Learn, dan S. Rahim. 2010. Physical Properties and Chemical Composition of Segamat Kaolin, Johor Malaysia. *Sains Malaysiana* 39(1), 31–38.
- Hasan, A, Rochmadi, H. Sulisty, dan S. Honggokusumo, 2012. The Effect of Rubber Mixing Process on the Curing Characteristics of Natural Rubber. *Makara, Teknologi*, 16(2), 109-115
- Iqbaldin, M.N.M., I. Khudzir, M.I.M. Azlan, A.G. Zaidi, B. Surani, dan Z. Zubri, 2013. Properties Of Coconut Shell Activated Carbon. *Journal of Tropical Forest Science* 25(4), 497–503.
- Sitorus, I.M.S., Y. Widyana, dan I. Surya, 2013. Pengaruh Penambahan Alkanolamida Terhadap Karakteristik Pematangan dan Kerasan Vulkanisat Karet Alam Berpengisi Kaolin. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(4), 38-42
- Kato A., Y. Ikeda, Y. Kasahara, J. Shimanuki, T. Suda, T. Hasegawa, H. Sawabe, dan S. Kohjiya, 2008. Optical transparency and silica network structure in cross-linked natural rubber as revealed by spectroscopic and three-dimensional transmission electron microscopy techniques. *Journal of the Optical Society of America*, 25(10), 1602-1615.
- Kesuma, R.F, B. Sitorus, dan Adhitiyawardman. 2013. Karakterisasi Pori Adsorben Berbahan Baku Kaolin Capkala dan Zeolit Dealuminasi. *JKK*, tahun 2013, halaman 19-23.
- Kyotani, T. 2000. Control of Pore Structure in Carbon. *Journal Elsevier*, 38(2) 269-286
- Lestiani, D.D., Muhyatun dan N. Adventini (2010). Karakteristik Unsur Pada Abu Dasar Dan Abu Terbang Batu Bara Menggunakan Analisis Aktivasi Neutron Instrumental. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia. Indonesian Journal of Nuclear Science and Technology* Vol. XI, No. 1, Februari 2010: 27-34.

- Márquez, J.M., J.Ma. Rincón, dan M. Romero, 2010. Effect of microstructure on mechanical properties of porcelain stoneware. *Journal of the European Ceramic Society*, 30 (15) 15, 3063-3069
- Masyrukan, 2013. Karakterisasi Bahan Karet Untuk Keperluan Gasket Kendaraan Terhadap Pengaruh Kandungan Sulfur. Simposium Nasional RAPI XII - 2013 FT UMS. Hal. 87-94.
- Munir, S. 2010. Penggunaan Bahan Pengisi Abu Terbang dalam Industri Karet. *Prosiding SNaPP2010* Edisi Eksakta. Hal. 49-53.
- Nabil, H., Ismail, H. and Azura, A. R, 2013. Compounding, mechanical and morphological properties of carbon-blackfiller natural rubber/recycled ethylenepropylene-diene-monomer blends, *Polymer Testing*, 32: 385-393.
- Nurdiansah, H, dan D. Susanti. 2013. Pengaruh Variasi Temperatur Karbonisasi dan Temperatur Aktivasi Fisika dari Elektroda Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Tempurung Kluwak Terhadap Nilai Kapasitansi Electric Double Layer Capacitor (EDLC). *Jurnal Teknik Pomits*, 2 (1), 13-18.
- Oh, J., Y.H. Yoo, I.S. Yoo, Y.I. Huh, T.K. Chaki, C. Nah. 2014. Effect of Plasticizer and Curing System on Freezing Resistance of Rubbers. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(2), 1-8.
- Peng, Y.K, 2007. The Effect of Carbon Black and Silica Fillers on Cure Characteristics and Mechanical Properties of Breaker Compounds. Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirements for the degree Of Master of Science. University Science Malaysia.
- Ramdja, A.F., L. Febrina, dan D. Krisdianto. 2010. Pemurnian Minyak Jelantah Menggunakan Ampas Tebu Sebagai Adsorben. *Jurnal Teknik Kimia*, 1(17), 7-14.
- Satheesh R.R., K. Manisekar, dan V. Manikandan. 2013. Effect of fly ash filler size on mechanical properties of polymer matrix composites. *International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMMME)* Volume 1, Issue 1 (2013) ISSN 2320-4060 (Online)
- Singh, G., A. Mahajan, M. Kumar, 2015. Comparative Study of Tyre Rubber and V-Belt Rubber: Composition and Mechanical Properties. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering* (IOSR-JMCE). 12(5) : 60-65.
- Winya, N, dan N. Pittayaprasertkul, 2015. SiO₂ Reinforcement of Mechanical Properties for Ebonite from Natural Rubber. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 6(3), 169-172.
- Yuniati, I.S. Cebro, dan Nurlaili, 2013. Pengaruh Bahan Pengisi Karbon Tempurung Kelapa Dan Karbon Sintetis Terhadap Sifat Mekanis Produk Latex. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII)*, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 23-24 Oktober 2013. Hal, 1 – 5.
- Zafarmehrabian. R., S.T, Gangali, M.H.R. Ghoreishy, dan M. Davallu.. 2012. The Effects of Silica/Carbon Black Ratio on The Dynamic Properties of The Tread Compounds in Truck Tires. *E-Journal of Chemistry*, 9(3), 1102-1112.